

# TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE .....	2
2.1. BIOMATERIALES Y APLICACIONES EN MEDICINA.....	2
2.1.1 Biomateriales .....	2
2.1.2 Aplicaciones de los biomateriales [7,8] .....	3
2.1.3 Problemas y limitaciones del uso de biopolímeros .....	3
2.2. ÁCIDO POLILÁCTICO .....	4
2.3. NANOESTRUCTURAS DE CARBONO.....	6
2.3.1 Generalidades .....	6
2.3.2 GO y TrGO como biomaterial .....	9
2.3.3 Nanocompuestos de polímero/grafeno.....	10
2.4. COMPÓSITOS DE PLA CON DERIVADOS DEL GRAFENO.....	11
2.4.1 Propiedad antimicrobiana .....	11
2.4.2 Toxicidad.....	12
2.4.3 Propiedades mecánicas.....	15
2.4.4 Conductividad eléctrica .....	17
2.5. BIOAPLICACIONES DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	19
2.5.1 Estimulación eléctrica.....	19
2.5.2 Propiedad antibacteriana .....	19
2.5.3 Percolación eléctrica .....	20
CAPÍTULO III. OBJETIVOS.....	22
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	23
3.1. MATERIALES.....	23
3.2. METODOLOGÍA.....	23
3.2.1. Producción de GO y TrGO.....	23
3.2.2. Nanocompuestos de PLA/GO y PLA/TrGO .....	24
CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
5.1 DERIVADOS DEL GRAFENO .....	27
5.1.1 Modificación del grafito.....	27
5.2 COMPÓSITOS PLA CON DERIVADOS DEL GRAFENO .....	28

5.2.1 Propiedad antibacterial.....	28
5.2.2 Toxicidad.....	30
5.2.3 Propiedades mecánicas.....	32
5.2.4 Conductividad eléctrica .....	36
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40
ANEXOS.....	61
ANEXO A. CURVAS DE ENSAYO DE TRACCIÓN PARA LOS COMPÓSITOS.....	61
ANEXO B. TEORÍA DE PERCOLACIÓN ELÉCTRICA .....	63
ANEXO C. DETERMINACIÓN PUNTO DE PERCOLACIÓN Y EXPONENTE CRÍTICO .....	64
ANEXO D. FOTOGRAFÍAS DE ENSAYOS DE MICROBIOLOGÍA .....	65

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Grafeno (superior) y las posibles estructuras del carbono a las que da origen (abajo): fullereno (izquierda), nanotubos de carbono (centro) y grafito y/o diamante (derecha) [50].....	7
Figura 2: Estructura molecular del óxido de grafeno (GO) [74]. .....	8
Figura 3: Ensayos de propiedad antibacterial en films de PLA y PLA/0.2 wt% GO-ZnO, durante 24 horas sobre bacterias S. Aureus y E. Coli, en condiciones luminosa y oscura [123].....	11
Figura 4: Cultivo de 24 horas para (a) S. Aureus y (b) E. Coli para distintas concentraciones en peso de GO en una matriz de PLA/PU [124].....	12
Figura 5: Viabilidad celular (izquierda) y porcentaje de muerte celular (derecha) respecto al control de fibroblastos embrionarios de ratón en presencia de distintas concentraciones de GO, M-rGO y H-rGO [125]. .....	13
Figura 6: Proliferación y viabilidad celular para el polímero puro y los compósitos con GO en concentraciones de 1% y 2% en peso [126]. .....	13
Figura 7: Índice de inhibición (%) para el material puro y los compósitos de PLA con GO y GNP a distintos tiempos [127].....	14
Figura 8: Proliferación celular de células MSC humanas en compósitos de PLGA y GO a un contenido de 1% en peso [128].....	15
Figura 9: Módulo de elasticidad (izquierda) y elongación a la rotura (derecha) v/s contenido de grafito en peso para compósitos de PLA/EG y PLA/NG [109]. .....	15
Figura 10: Elongación al quiebre para los compósitos de PLA [129].....	16
Figura 11: Conductividad v/s concentración en volumen (%) de compósitos de PLA y óxidos de grafeno:GO (óxidos de grafeno), rGO-g (óxidos de grafeno reducidos con glucosa), rGO-p (óxidos de grafeno reducidos con polivinilpirrolidona (PVP)) [108].....	17
Figura 12: Resistividad eléctrica v/s contenido en peso de grafito para compósitos de PLA con grafito no exfoliado (NG) y grafito exfoliado (EG) [109].....	18
Figura 13: Conductividad eléctrica v/s contenido en peso de nanoplaqueta de grafeno (GNP) en compósitos de PLA/GNP [134].....	18
Figura 14: Representación esquemática del concepto de percolación eléctrica. En la figura de la izquierda el enrejado está sin sitios activos, al medio con un 50% de sitios activos, y a la derecha con un 67% de sitios activos, donde se observa el camino existente desde un extremo a otro. ....	21
Figura 15: Patrones de difracción de rayos X (DRX) para el G, GO y TrGO. ....	27
Figura 16: Citocompatibilidad a 24 horas de células SaOS-2 para compósitos de PLA/GO y PLA/TrGO respecto al control (n=6; *Diferencia estadísticamente significativa entre los test y el control. +Diferencia estadísticamente significativa entre los test y el PLA; p<0,05). .....	31

Figura 17: Comparación entre compósitos de PLA/GO a distintas concentraciones y los efectos del secado de los materiales antes del mezclado en fundido. ....	32
Figura 18: Módulo de elasticidad del PLA a distintas concentraciones en peso de GO y TrGO. ....	33
Figura 19: Elongación a la rotura del PLA a distintas concentraciones en peso de GO y TrGO. ....	34
Figura 20: Módulo de Young experimental y resultados del modelo Halpin-Tsai para compuestos de PLA con a) TrGO y b) GO.....	36
Figura 21: Curva experimental de percolación eléctrica y ajuste a modelo clásico para los compósitos a distintas concentraciones en volumen de GO y TrGO (densidad GO=2,2 [g/cm <sup>3</sup> ] [193]; densidad TrGO=2,38 2 [g/cm <sup>3</sup> ] [183]). ....	37
Figura 22: Linealización del modelo túnel para los datos experimentales en compósitos de PLA/TrGO. ....	38
Figura 23: Comparación curvas esfuerzo versus elongación obtenidas para los compósitos PLA/TrGO. ....	61
Figura 24: Comparación curvas esfuerzo versus elongación obtenidas para los compósitos PLA/GO. ....	62

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades mecánicas (módulo de elasticidad y elongación a la rotura) de algunos polímeros termoplásticos [18].....	5
Tabla 2: Propiedad antibacterial (%) y CFU/ml de los compósitos de PLA con GO y TrGO a las concentraciones (en peso) indicadas. (PLA se usó como control; e-: compósito sometido a conductividad eléctrica). .....	28

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CrGO: óxido de grafeno químicamente reducido.

EG: grafito exfoliado.

G: grafito.

GO: óxido de grafito.

NG: grafito.

PDLA: ácido poli-D-láctico.

PDLLA: ácido poli-D-L-láctico.

PLA: ácido poliláctico.

PLLA: ácido poli-L-láctico.

PP: polipropileno.

PU: poliuretano.

PVA: polivinil alcohol.

rGO: óxido de grafeno reducido.

TrGO: óxido de grafeno térmicamente reducido.

UHMWPE: polietileno de ultra alto peso molecular.